

IRRIGAÇÃO POR SULCO COM E SEM UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL¹

JOSÉ MONTEIRO SOARES², SALASSIER BERNARDO³,
RICARDO A. LOPES BRITO⁴, PAULO AFONSO FERREIRA³

RESUMO - Compararam-se dois sistemas de irrigação por sulcos. Um deles constou da aplicação de vazões constantes, através de sifões, para valores de R iguais a 0,26; 1 e 2. O outro constou da reutilização da água escoada para valores de R iguais a 0,5, 1 e 2. Observaram-se decréscimos nas perdas por percolação, enquanto as eficiências de aplicação e de distribuição aumentaram, o mesmo acontecendo com as perdas por escoamento em ambos os sistemas de irrigação, quando o valor de R aumentou. A eficiência de irrigação cresceu com o valor de R, quando se reutilizou a água de escoamento, ocorrendo o inverso quando não se reutilizou esta água. Foram feitas determinações quanto à flutuação da vazão de escoamento disponível durante a irrigação de cinco setores consecutivos, visando o dimensionamento de sistemas de irrigação com reutilização desta água.

Termos para indexação: irrigação por sulco, escoamento, percolação, eficiência.

FURROW IRRIGATION WITH AND WITHOUT USE OF RUNOFF WATER

ABSTRACT - Two furrow irrigation systems were compared, the first one consisting of application of a constant outflow through siphons, for R values equal to 0.26, 1 and 2. The second system consisted of use of runoff water for R values equal to 0.50, 1 and 2. When R value increased, in both the irrigation systems the losses by percolation decreased while the efficiencies of application and distribution increased, as well as the runoff losses. The irrigation efficiency increased with R value when the runoff water was used, occurring, however, the opposite when this water was not used. Complementary observations were made concerning to measurements of the fluctuation of the outlet disposable runoff during the irrigation of five consecutive sectors aiming at the dimension of irrigation systems with use of runoff water.

Indexa terms: furrow irrigation, runoff, percolation, efficiencies.

INTRODUÇÃO

Na maioria dos sistemas de irrigação por sulcos, o manejo da água é feito de forma inadequada. A interrupção da irrigação quando o avanço da água no sulco alcança a extremidade final dos sulcos, ou após um intervalo de tempo insuficiente para aplicar-se a lâmina de água desejada, resulta na infiltração de reduzidas lâminas de água no trecho final do sulco, o que pode concorrer para a redução da produtividade das culturas neste trecho. Por outro lado, a aplicação de água em excesso resulta

em perdas consideráveis de água por escoamento superficial no final do sulco.

As perdas de água por escoamento não se destacam apenas como um desperdício de água, mas também de energia, principalmente quando as estações de bombeamento estão situadas a grandes diferenças de nível e/ou grandes distâncias, em relação às áreas irrigadas. Este problema tende a agravar-se, em decorrência da escassez de recursos hídricos e da elevação das tarifas de energia elétrica e dos combustíveis.

A redução da vazão é uma das técnicas recomendadas para minimizar as perdas por escoamento, em sistemas de irrigação por sulcos. Porém, essa técnica ainda representa um baixíssimo índice de adoção nas áreas irrigadas do Nordeste.

O sistema de utilização da água de escoamento apresenta-se com grande potencial diante das condições atuais de disponibilidade e manejo de água. Entretanto, necessita-se de informações sobre a viabilidade e eficiência desse sistema para sua utilização no Brasil e, com estes objetivos desenvolveu-se o presente trabalho.

¹ Aceito para publicação em 4 de novembro de 1983. Trabalho baseado em Tese de Mestrado, apresentado pelo primeiro autor ao Dep. de Engenharia Agrícola Univ. Fed. de Viçosa.

² Eng^o - Agr^o, M.Sc., Irrigação e Drenagem, EMBRAPA - Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Caixa Postal 23, CEP 56300, Petrolina, PE.

³ Eng^o - Agr^o, Ph.D., Prof. Dep. de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG.

⁴ Eng^o - Agr^o, Ph.D., Irrigação e Drenagem, EMBRAPA/ENPARN, Natal, RN.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no Campo Experimental do Sistema de Irrigação de Bebedouro, Petrolina, PE, num solo da classe oxissolo, unidade 37 BB, cuja profundidade média é de 1,50 m, com textura variando de arenosa, na superfície, a barro-argilo-arenosa a partir de 0,50 m, com presença de mosqueado abaixo desta profundidade (Pereira & Souza 1967).

Os testes compreenderam dois sistemas de irrigação por sulcos, assim denominados: Sistema de irrigação por sulco (SIS) utilizando sifão, e Sistema de irrigação com utilização da água de escoamento (SIUAE). O primeiro foi analisado para valores da relação (R) entre o tempo de oportunidade (tempo de irrigação no final do sulco) e o tempo de avanço (tempo gasto para a água alcançar o final do sulco) iguais a 0,26, 1 e 2, enquanto o segundo foi analisado apenas para valores de (R) iguais a 0,5, 1 e 2. Os parâmetros utilizados para avaliar esses sistemas de irrigação foram: eficiências de aplicação, distribuição e irrigação; perdas de água por percolação e por escoamento, tendo por base a infiltração acumulada.

O SIS foi constituído por três repetições com três sulcos por repetição e consistiu da aplicação de vazão constante, aproximadamente igual à vazão máxima não-erosiva, durante todo o tempo de irrigação. O SIUAE consistiu de seis setores: o primeiro, constituído por três sulcos; do segundo ao quinto, por quatro sulcos; e o sexto, por apenas um sulco. A vazão aplicada por sulco deve ser aproximadamente igual à máxima não-erosiva, durante todo o tempo de irrigação: o primeiro setor foi irrigado utilizando-se somente a vazão proveniente da fonte primária de abastecimento (canal parcelar), enquanto o sexto setor foi irrigado apenas com vazão proveniente do bombeamento contínuo da água escoada. Do segundo ao quinto setores, a vazão disponível do canal era composta pelas vazões provenientes da fonte primária de abastecimento e do bombeamento da água escoada. A vazão da motobomba para circular a água escoada foi calibrada, em função da vazão média de escoamento produzida por sulco, tendo por base o SIS (Fig. 1).

A vazão de escoamento foi determinada por calhas "WSC flume" tipo A, instaladas no final de cada sulco, em ambos os sistemas de irrigação (SIS e SIUAE).

A determinação dos valores da eficiência de aplicação e de distribuição e de perdas de água por percolação e escoamento obedeceram a metodologia apresentada por Bernardo et al. (1977), e a determinação da eficiência de irrigação seguiu Fok & Bishop (1969).

Após o preparo do solo, os sulcos apresentaram as seguintes características: 45 cm de largura; 9,5 cm de profundidade; 90 m de comprimento e uma declividade média de 0,27%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 2 mostra as curvas de avanço obtidas para as vazões de 1,35, 1,60 e 1,84 l/s.

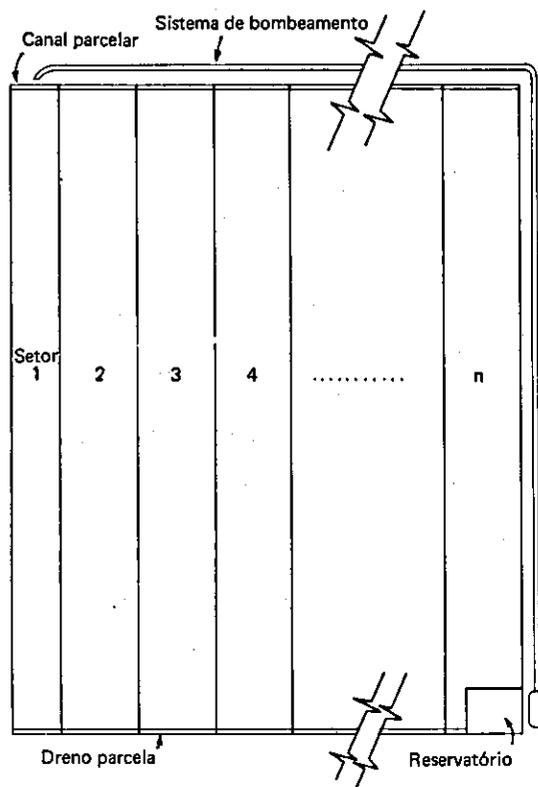


FIG. 1. Esquema de um sistema de irrigação típico com utilização da água escoada.

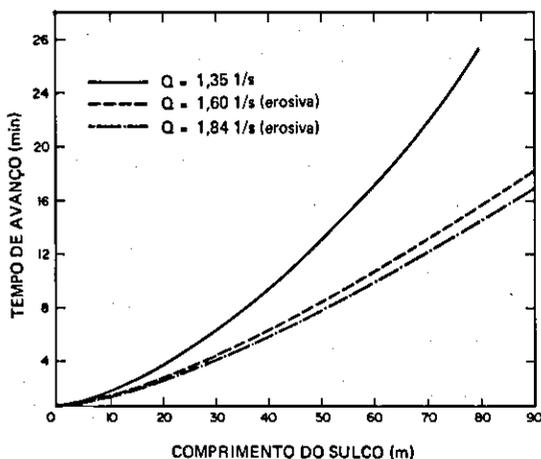


FIG. 2. Curvas de avanço para as vazões de 1,35; 1,60 e 1,84 l/s para uma declividade de sulco de 0,27% para um oxissol unidade 37BB.

Constatou-se, visualmente, que a vazão máxima não-erosiva de 1,60 l/s, obtida pela equação citada por Hamad & Stringham (1978), causou pequena erosão ao longo do sulco. Assim, com o objetivo de reduzir os efeitos da erosão, foi selecionado o valor de 1,52 l/s como a vazão máxima não-erosiva real. A equação de avanço obtida com a vazão de 1,60 l/s é dada por:

$$L = 8,72 T^{0,81} \quad r^2 = 0,99 \quad (1)$$

em que:

L = Comprimento do sulco no tempo de avanço, em m;

T = Tempo de avanço, em min.

A equação de infiltração acumulada, obtida para a vazão máxima não-erosiva real (1,52 l/s) é dada por:

$$D = 5,29 T^{0,57} \quad r^2 = (0,99) \quad (2)$$

em que:

D = Lâmina infiltrada no tempo de irrigação, em mm;

T = Tempo de irrigação, em min.

A Fig. 3 apresenta curvas de eficiências de aplicação e de distribuição e de perdas de água por percolação e por escoamento, calculadas em base a equação (2) de infiltração acumulada, para valores de R iguais a 0,26, 1 e 2, obtidos em campo, e para valores simulados de R iguais a 3 e 4. A lâmina média aplicada no sulco foi calculada considerando-se a vazão constante de 1,52 l/s e uma faixa umedecida de 0,80 m por sulco.

Observa-se, pela Fig. 3, que as perdas de água por percolação decrescem quando o valor de R aumenta. Isto se deve ao aumento da lâmina infiltrada no final do sulco. Por outro lado, as perdas por escoamento tendem a crescer com o valor de R, para um mesmo comprimento de sulco, por causa da diminuição da velocidade de infiltração do solo com o aumento do tempo de irrigação.

Verifica-se, também, que a eficiência de distribuição aumentou bruscamente para valores de R entre 0,26 e 1, e apresentou crescimento menos acentuado para valores de R maior que 1. Pode-se

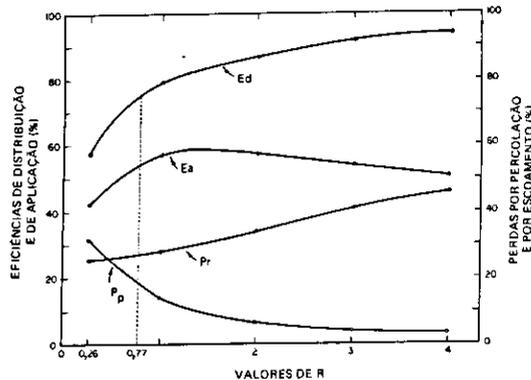


FIG. 3. Curvas de perdas de água por percolação (Pp) e por escoamento superficial (Pe) e eficiências de distribuição (Ed) e de aplicação (Ea) em função de R.

observar, ainda, que a eficiência de aplicação aumentou rapidamente para valores de R entre 0,26 e 1, e manteve-se, praticamente, constante para valores de R entre 1 e 2, quando, então, passou a decrescer.

Portanto, para se aumentar a eficiência de uso de água mediante redução das perdas por escoamento, torna-se necessário a adoção de um sistema de irrigação que possibilite a redução da vazão inicial, ou que permita a utilização da água de escoamento para valores de R iguais ou maiores que 1. A adoção destas práticas terá um efeito ainda maior se a textura do solo passar de arenosa para argilosa, pois o aumento da vazão máxima não-erosiva permissível, a redução da velocidade de infiltração, o aumento da capacidade de retenção de água e do tempo de irrigação, concorrerão para aumentar as perdas por escoamento. Estudos sobre redução da vazão inicial já foram conduzidos, pelos autores, nessa mesma área do presente trabalho (Soares et al. 1981).

As perdas médias de água por percolação e por escoamento, e as eficiências médias de distribuição e de aplicação, para a unidade de solo 37 BB da classe oxissolo, encontradas por Leal (1979) para a área irrigada do Sistema de Bebedouro, Petrolina, PE, assumindo uma faixa de umedecimento de 1 m por sulco, foram de 32,72, 42,08, 44,92 e 25,92%, respectivamente.

A diferença da lâmina infiltrada no início, com a infiltrada no final do sulco, em termos percen-

tuais, decresceu bruscamente para valores de R entre 0,26 e 1, porém apresentou um decréscimo menos acentuado para valores de R maiores que 1 (Fig. 4). Merriam et al. (1973) encontraram uma diferença aproximada de 50% entre as lâminas infiltradas no início e o final do sulco, para um valor de R igual a 2. Esta diferença pode ser devida ao tipo de solo, comprimento do sulco e/ou às condições iniciais de umidade do solo. O uso de vazões inferiores à máxima não-erosiva, implicará, provavelmente, a obtenção de um manejo de água ainda mais deficiente.

A Fig. 5 mostra as curvas das percentagens médias acumuladas de escoamento em função do tempo. Verifica-se, pela Fig. 5, que a percentagem média acumulada da água de escoamento aumentou progressivamente com o valor de R . Verifica-se, também, que as perdas de água por escoamento, após a interrupção do fornecimento de água ao sulco, são da da ordem de 13,98, 9,56 e 7,52% em relação ao volume total de escoamento, para valores de R iguais a 0,26; 1 e 2 respectivamente.

Outro fator que condiciona o irrigante, nos perímetros de irrigação, ao uso de tempo de oportunidade bastante pequeno, no final do sulco, ou seja, valores de R inferiores a 1, é a distribuição de água por tempo pré-estabelecido e não por demanda.

Considerando que a relação entre a vazão aplicada por sulco (1,52 l/s) e a vazão de escoamento oscilava em torno de 3:1, para R igual a 1, ado-

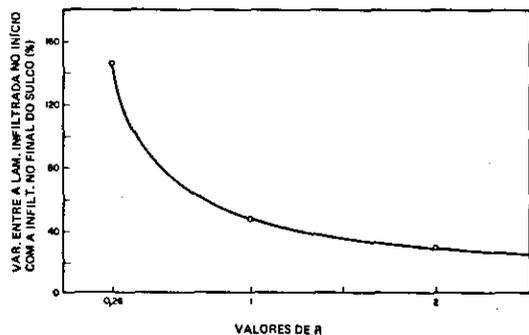


FIG. 4. Variação da lâmina infiltrada no início com a infiltrada no final do sulco versus valores de R .

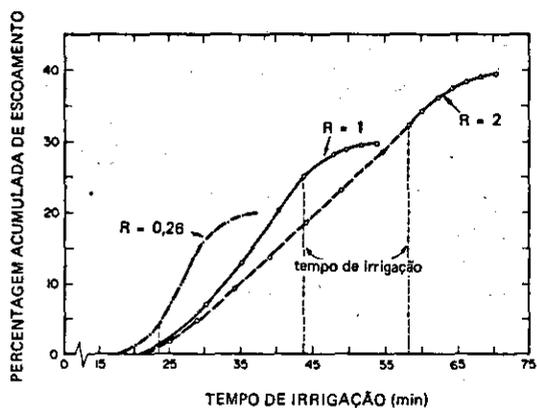


FIG. 5. Percentagem média acumulada de escoamento em relação ao tempo de irrigação para o sistema de irrigação com sifão, para R iguais a 0,26; 1 e 2.

tou-se que o escoamento resultante de três sulcos irrigados do primeiro setor, com vazão proveniente da fonte primária de suprimento, seria suficiente para a irrigação de um sulco ou mais, do setor seguinte.

A disponibilidade de água escoada dos seis setores, para cada valor de R , foi determinada pelos somatórios do produto intervalo de tempo \times vazão média de água escoada no respectivo intervalo. Com esses dados, foram construídas as Fig. 6, 7 e 8, que ilustram as flutuações das hidrógrafas de escoamento de cada setor, em função do tempo, no sistema de circulação de água escoada com bombeamento contínuo, para valores de R iguais a 0,50, 1 e 2.

Pode-se constatar, pelas Fig. 6, 7 e 8, que as hidrógrafas de escoamento são descontínuas e se repetem periodicamente, apresentando formas semelhantes para todos os valores de R . As vazões máximas de escoamento para hidrógrafas individuais ocorrem imediatamente após o término da aplicação de água no sulco em cada setor, em virtude da redução gradual da velocidade de infiltração da água no solo.

Observa-se, ainda, através dessas figuras, que os máximos ocorrem em valores semelhantes, a partir da hidrógrafa do segundo setor, para qualquer valor de R . A inferioridade do máximo da hidrógrafa do setor 1 deve-se ao menor número de sulcos irrigados neste setor. Pope & Barefoot (1973)

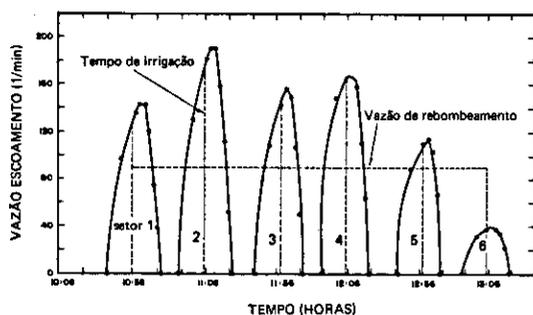


FIG. 6. Hidrógrafas da vazão de escoamento por setor no sistema de recirculação de água de irrigação com bombeamento contínuo para R igual a 0,50.

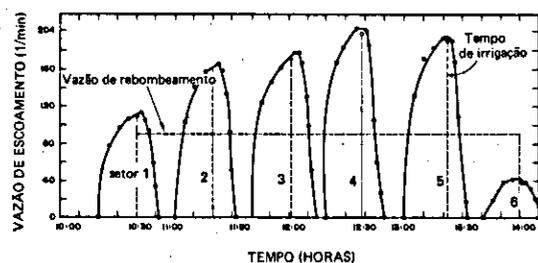


FIG. 7. Hidrógrafas da vazão de escoamento por setor no sistema de recirculação de água de irrigação com bombeamento contínuo para R igual a 1.

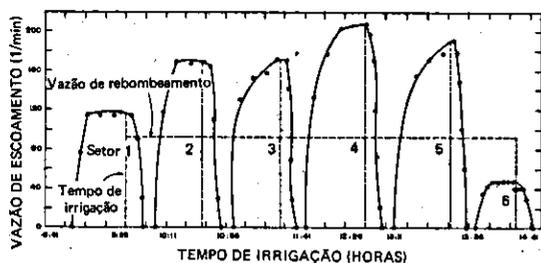


FIG. 8. Hidrógrafas da vazão de escoamento por setor no sistema de recirculação de água de irrigação com bombeamento contínuo para R igual a 2.

mencionam que a obtenção da hidrógrafa de escoamento por setor é de interesse, quando se considera viável o sistema de uso da água escoada.

Apesar de a vazão aplicada por sulco (1,5 l/s) ter sido mantida constante durante todo o tempo de irrigação, as vazões médias de escoamento oscilaram, tendo os valores de 0,54, 0,63 e 0,61 l/s, para os valores de R igual a 0,50, 1 e 2 respec-

tivamente. Estas perdas representaram, em média, 21,95% para R igual a 0,50; 27,86% para R igual a 1 e 32,27% para R igual a 2. Hart (1975) verificou, para R igual a 1 que a vazão máxima de escoamento era igual a 2/3 da vazão aplicada por sulco.

Observa-se, pela Fig. 9, que a flutuação do volume de água escoada disponível no reservatório tende a assemelhar-se às flutuações das hidrógrafas no final de um série de setores (Fig. 6, 7 e 8), ou seja, tende a diminuir quando o valor de R cresce, decorrente da redução da velocidade de infiltração e do aumento do tempo de irrigação por setor.

O bombeamento contínuo da água escoada numa vazão aproximada de 0,51 l/s por sulco, apesar de ser ligeiramente inferior às vazões médias de escoamento por setor, produziu pontos de mínima nas hidrógrafas do reservatório em valor absoluto bastante diferentes, em decorrência da frequência dos intervalos de tempo sem produção de escoamento entre dois setores consecutivos (Fig. 9). Para R igual a 0,50, a água de escoamento somente permitiu a irrigação do sexto e último setor, porque o reservatório apresentava uma disponibilidade de água da ordem de 3.600 litros antes do início da irrigação do primeiro setor. Caso contrário, teria sido necessário o desligamento da motobomba por tempo, em face da não-disponibilidade de água no reservatório.

Os pontos de mínima, para R igual a 2, ocorreram quando o volume de água escoada dispenf-

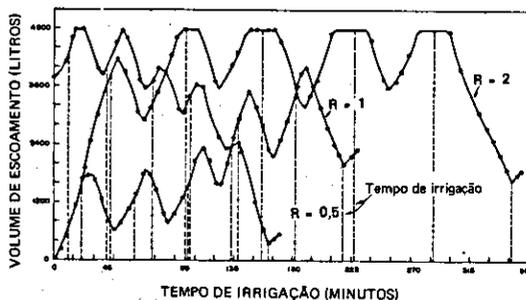


FIG. 9. Hidrógrafas do volume de escoamento disponível no reservatório no sistema de irrigação com utilização da água escoada com bombeamento contínuo para valores de R igual a 0,5; 1 e 2.

vel no reservatório estava sempre acima da metade de sua capacidade. Observou-se, também, para R igual a 2, que houve perdas razoáveis de água escoada por transbordamento do reservatório, uma vez que apresenta uma capacidade de armazenamento de 4.800 litros.

O bombeamento da água escoada permitiu que as perdas de água por escoamento fossem reduzidas de 27,86 para 4,10% e de 32,27 para 9,6% em relação ao volume total de água proveniente da fonte primária de suprimento, para valores de R iguais a 1 e 2, respectivamente. Portanto, verifica-se que a reutilização, por circulação, da água escoada, poderá ser iniciada a partir do valor de R igual a 0,50, desde que a vazão de bombeamento seja ajustada à vazão média de escoamento, mesmo para um solo relativamente arenoso.

Para o dimensionamento de um sistema de irrigação, em que a água escoada deve ser utilizada imediatamente, a vazão média de escoamento por sulco e a hidrógrafa da disponibilidade de água no reservatório, obtida em condições de campo para uma série de pelo menos cinco setores, apresentam-se como um método bastante confiável. Porém, existem soluções analíticas que são utilizadas para a determinação de escoamento. Dentre elas, destacam-se a metodologia desenvolvida por Stringham & Hamad (1975), para ser empregada no sistema de recirculação de água de irrigação com bombeamento contínuo; a metodologia apresentada por Bondurant (1969) para ser usada no sistema de recirculação de água de irrigação com bombeamento cíclico ou intermitente; e a metodologia desenvolvida por Merrian et al. (1973), que pode ser utilizada numa condição qualquer do sistema de irrigação por sulcos.

As curvas de eficiência de irrigação, com e sem uso da água escoada, mostradas na Fig. 10, foram obtidas para valores de R iguais a 0,5, 1 e 2, para dados obtidos em condições de campo, e simulado para valores de R iguais a 3 e 4. Observa-se, através desta Fig. 10, que a eficiência de irrigação sem o uso de escoamento apresenta um valor máximo de 46% para um valor de R igual a 0,50, e tendeu a decrescer com aumento de valor de R, enquanto a eficiência de irrigação com o uso da água escoada, tendeu a 100%, com o aumento de R. Fischbach & Somerhalder (1971) constataram que a eficiência

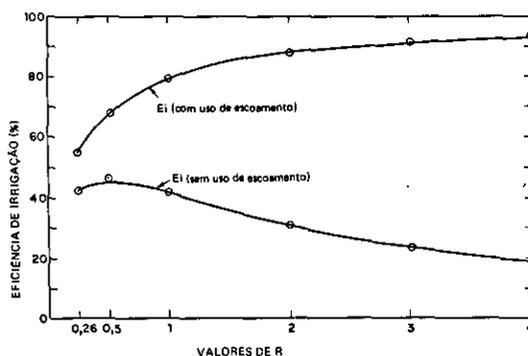


FIG. 10. Eficiência de irrigação com e sem reuso da água de escoada versus valores de R.

de irrigação, sem e com o uso da água escoada, foi de 65 e 92%, respectivamente. Stringham & Hamad (1975), analisando o sistema de recirculação da água de irrigação, sob condições de bombeamento contínuo, constataram que a reutilização da água escoada, além de aumentar a eficiência de irrigação de 47 para 80%, proporcionou uma redução significativa do tempo total de irrigação do projeto, assim como a redução do volume da água requerida da fonte primária de suprimento.

A vazão total aplicada por setor e proveniente da fonte primária de abastecimento era de 4,56 l/s. Como do segundo ao quinto setor se têm quatro sulcos por setor, dividindo-se a vazão aplicada (1,52 l/s) pelo quociente da relação obtida entre a vazão proveniente da fonte primária de suprimento (4,56 l/s) e o número de sulcos irrigados por setor (quatro), obteve-se uma eficiência global de uso de água de 133%, com sistema de recirculação de irrigação. Isso significa que houve uma melhoria de 33% na reutilização da água da fonte primária.

Nos perímetros irrigados da CODEVASF, o custo atual do metro cúbico de água é de Cr\$ 0,60 (preço tomado em novembro/80). Com a adoção de um sistema de irrigação com reutilização de água escoada haveria uma redução, no custo da água, para Cr\$ 0,45 por metro cúbico. Isso, sem a inclusão dos custos de instalação dos sistemas de captação e de bombeamento da água escoada.

Dependendo da topografia da área, a água escoada poderá ser reutilizada imediatamente, em campos situados mais abaixo, por meio de "sistema de seqüência de uso", em que a reutilização

é total e dispensa a construção de reservatórios, assim como o uso de conjunto motobomba. Ou ainda, a água escoada poderá ser utilizada imediata ou posteriormente, por meio de "sistema de reservatório", em que a reutilização é total, podendo dispensar o uso de conjunto de bombeamento (Bondurant 1969).

A água escoada também poderá ser usada no mesmo campo, por meio de sistema de circulação com bombeamento intermitente, em que a vazão inicial é reduzida automaticamente, pelo simples desligamento do sistema de bombeamento da água escoada, quando a frente de avanço atinge o final do sulco (Pope & Barefoot 1973). Assim, a vazão de 4,56 l/s, disponível no canal, seria suficiente para irrigar cinco sulcos, ao invés de quatro, a partir do segundo setor. Porém, esta opção necessita de reservatórios de maior capacidade e de conjunto motobomba de maior potência (Bondurant 1969 e Pope & Barefoot 1973) e ainda aumentaria o tempo de irrigação por setor.

Os sistemas de recirculação da água de irrigação com uso total ou parcial do escoamento exige uma certa prática, por parte do irrigante, para que seja alcançado um manejo eficiente da água. Assim, o sistema de circulação da água de irrigação, com bombeamento intermitente durante o tempo de irrigação, parece adaptar-se melhor às condições dos irrigantes, no caso do Brasil.

Dentre as modalidades de sistemas de irrigação por sulcos com utilização da água escoada, o sistema de "retorno de fluxo" e o "sistema de reservatórios" necessitam da construção de reservatórios e da instalação de conjuntos de bombeamento, dentro ou nas proximidades da área a ser irrigada. Porém, a capacidade de armazenamento desses reservatórios, a potência do conjunto motobomba, assim como a escolha do local para a sua instalação, irá depender do sistema principal de irrigação, das características topográficas da área e das práticas de irrigação adotadas pelo agricultor (Bondurant 1969).

O uso de sistema de recirculação da água de irrigação parece ser mais indicado para as regiões onde a disponibilidade de água é precária, como a região semi-árida do Nordeste, que, além de ser afetada por secas intensas e frequentes, apresenta o problema de redução, pela evaporação, do volume

de água armazenada, que é de, aproximadamente, 20 cm/mês, no período de julho a dezembro (Guerra 1970). Este sistema também poderá ser usado nas áreas cujo custo de bombeamento é elevado. Portanto, o valor econômico da água escoada poderá ser um dos fatores de decisão para a instalação de um sistema de reutilização da água escoada (Bondurant 1969).

A produção agrícola obtida sob irrigação, especialmente no Nordeste brasileiro, terá de optar por alternativas que venham minimizar o desperdício, principalmente de água e de energia, diante dos efeitos da inflação crescente, de modo a viabilizar a agricultura irrigada.

CONCLUSÕES

1. A reutilização da água escoada ocasionou sensível redução nas perdas totais, para valores de R iguais a 1 e 2.

2. A não-reutilização da água escoada acarretou perdas por escoamento de 27,86% e de 32,27% para valores de R iguais a 1 e 2, respectivamente.

3. A reutilização da água escoada ocasionou uma eficiência de irrigação de 65% para $R = 0,5$ e cresceu com o aumento do valor de R; a não-reutilização ocasionou uma eficiência de irrigação de apenas 46% para $R = 0,5$ e decresceu com o aumento do valor de R.

4. Em ambas as modalidades de irrigação, com e sem reutilização da água escoada, as perdas por percolação e as eficiências de distribuição e de aplicação cresceram para valores de R compreendidos entre 0,26 e 1; permaneceram praticamente constantes para valores de R compreendidos entre 1 e 2.

5. A vazão média de escoamento e a hidrógrafa da disponibilidade de água no reservatório poderão ser utilizadas como método confiável para o dimensionamento de sistemas de irrigação com reutilização da água escoada.

6. A reutilização da água escoada ocasionou sensível redução no custo total de bombeamento da água de irrigação.

REFERÊNCIAS

BERNARDO, S.; RESENDE, M. & ARAÚJO, J.J. Eficiência de irrigação por sulco com redução da vazão inicial. *R. Ceres, Viçosa*, 24(133):261, 1977.

- BONDURANT, J.A. Design of recirculating irrigation systems. *Trans. ASAE*, St. Joseph, 12(2):195-201, 1969.
- FISCHBACH, P.E. & SOMERHALDER, B.R. Efficiencies of an automated surface irrigation system with and without a runoff re-use system. *Trans. ASAE*, St. Joseph, 14(4):717-9, 1971.
- FOK, Y.S. & BISHOP, A.A. Expressing irrigation efficiency in terms of application time, intake and water advance constants. *Trans. ASAE*, St. Joseph, 12(4):438-22, 1969.
- GUERRA, P.B. Evolução e problemas de irrigação no Nordeste. Fortaleza, DNOCS, 1970.
- HAMAD, S. & STRINGHAM, G.E. Maximum nonerosive furrow irrigation stream size. *J. Irrig. Drain. Div.*, New York, 104(IR 3):275-81, 1978.
- HART, N.E. Irrigation reuse systems (a proposed new ASAE engineering practice). St. Joseph. ASAE, 1975. 24p. (Paper, 75-2542).
- LEAL, M.V.P. Determinação da eficiência de irrigação a nível de parcela, no Projeto de Irrigação de Bebedouro - Petrolina, Pernambuco. Viçosa, Imprensa Universitária, 1979. 94p. Tese Mestrado. Irrigação.
- MERRIAN, J.L.; KELLER, J. & ALFREDO, J.F. Irrigation system evaluations and improvement. Logan, Utah State University, 1973.
- PEREIRA, J.M.A. & SOUZA, R.R. de. Mapeamento detalhado da área de Bebedouro, Petrolina, PE. Recife, MINTER/SUDENE, 1967. 57p. (Brasil. SUDENE, Irrigação, 21).
- POPE, D.L. & BAREFOOT, A.D. Reuse of "runoff" from furrow irrigation. *Trans. ASAE*, 16(6):1088-91, 1973.
- SOARES, J.M.; BERNARDO, S.; BRITO, R.A.L. & FERREIRA, P.A. Análise comparativa entre o uso de vazão constante e redução da vazão inicial e seu efeito na eficiência de irrigação por sulco. *Turrialba*, 31(4):343-50, 1981.
- STRINGHAM, G.E. & HAMAD, S.N. Design of irrigation "runoff" recovery systems. *J. Irrig. Drain. Div.*, New York, 101(IR 3):209-18, 1975.